



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

# Матеріали для атомної і термоядерної енергетики

### Шифр та назва спеціальності

105 - Прикладна фізика та наноматеріали

### Інститут

ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

### Освітня програма

Прикладна фізика та наноматеріали для енергетики, медицини, радіоелектроніки та телекомунікацій

### Кафедра

фізики металів та напівпровідників (165)

### Рівень освіти

магістр

### Тип дисципліни

Професійна підготовка. Вибіркова

### Семестр

2

### Мова викладання

Українська

## Викладачі, розробники



### Зубарєв Євгеній Миколайович

[enzubarev@gmail.com](mailto:enzubarev@gmail.com)

Доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики металів та напівпровідників НТУ «ХПІ».

Досвід роботи – 42 роки. Автор понад 180 наукових та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Атомна дифузія в твердих тілах», «Фізичні властивості матеріалів», «Електроннографія», «Радіаційна стійкість матеріалів», «Рентгено-флуоресцентний аналіз». Сфера наукових інтересів- електронна мікроскопія, рентгено-структурний аналіз, рентгенівська оптика, дифузія та фазові перетворення в нанорозмірних плівкових системах.

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Розвиток ядерної енергетики відбувається у жорсткій конкуренції з традиційними технологіями виробництва енергії. Ключовими питаннями цієї конкуренції є безпека та економічність. Саме поведінка конструкційних матеріалів енергетичних реакторів, які вже експлуатуються і нових, які проектується і випробуються, в значній мірі визначають їх безпечну і економічну роботу. Роль конструкційних матеріалів активної зони і корпусів реакторів полягає у забезпеченні мінімальних наслідків можливих наслідків аварійних ситуацій, тобто по суті, у рішенні головних питань безпеки реактора. Сучасний рівень знань передбачає, що деградація первинних фізико-механічних властивостей матеріалів визначається зміною в структурі і хімічному складі матеріалів в процесі опромінення їх прискореними частинками в атомному реакторі або водневою плазмою у термоядерному реакторі. Проблема полягає в тому, що радіаційні

пошкодження відбуваються на атомному рівні, але макроскопічні ефекти деградації реакторних матеріалів, такі як розпухання, повзучість та охрупчування, в дійсності виникають через мікроструктурні зміни, такі, як зростання пор, дислокаційних петель та виділення вторинних фаз. Особливу увагу приділено закономірностям формування дефектної структури матеріалів уздовж траєкторії прискореної частинки у твердому тілі а також під впливом імпульсними потоками водневої плазми з високою потужністю. Курс є базовим для задач прикладної фізики для отримання необхідних властивостей та параметрів фізичними об'єктами, для створення нових сучасних матеріалів із заданими властивостями та радіаційно стійких матеріалів. Призначений для студентів фізичних, інженерно – технічних спеціальностей 10 галузі знань – «природничі науки».

### **Мета та цілі дисципліни**

Мета вивчення та засвоєння матеріалу з навчальної дисципліни полягає в формуванні у студентів основних понять про взаємодію прискорених частинок з твердотільними матеріалами і фізичних процесів, які виникають у твердому тілі під час їх гальмування і подальшому відпалі. Вивчаються методи комп'ютерного моделювання розподілу в твердому тілі імплантованих частинок, радіаційних вакансій, власних міжвузловинних атомів і іонізацій, енергетичних та кутових характеристик розпиленних частинок. Отримуються знання для вирішення задач прикладної фізики по створенню необхідних властивостей та параметрів твердотільних матеріалів які працюють в умовах зовнішнього опромінення.

### **Формат занять**

Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

### **Компетентності**

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

СК2. Здатність оптимально визначити матеріальні засоби, необхідні для проведення наукового дослідження або науково-технічної розробки (матеріали, апаратура, обладнання, обчислювальна техніка та інше).

СК3. Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти.

### **Результати навчання**

РН1. Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач.

РН4. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.

РН7. Вміти здійснювати комп'ютерне моделювання фізичних систем та процесів при вирішенні практичних задач.

### **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредити ECTS): лекції – 16 год., лабораторні роботи – 32 год., самостійна робота – 72 год.

### **Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)**

Для успішного проходження курсу необхідно знати основні поняття з курсів: вища математика, загальна фізика, кристалографія, методи структурного аналізу.

### **Особливості дисципліни, методи та технології навчання**

В рамках даної дисципліни студенти виконують індивідуальне домашнє завдання (ІДЗ).

## **Програма навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять**

**Тема 1. Первинні процеси при радіаційному пошкодженню матеріалів**

Пари Френкеля. Каскади атомних зіткнень і їх вплив на мікроструктурну еволюцію. Точкові дефекти у ГЦК-, ОЦК-, ГЦП- кристалах і реакції між ними.

**Тема 2. Основні матеріали реакторобудування і методи дослідження мікроструктурної еволюції**  
Аустенітні сталі. Ферито-мартенситні сталі. Дисперсно-зміцнені сталі. Сталі на основі хрому. Корпусні сталі. Сплави на основі цирконію. Обладнання для дослідження мікроструктурної еволюції.

**Тема 3. Еволюція дислокаційної структури аустенітних та феритних сталей при опроміненні**  
Вплив дози опромінення, атомів гелію, та температури опромінення на еволюцію дислокаційної структури в опроміненні ГЦК- матеріалах. Модель еволюції дислокаційної структури опроміненні аустенітних сталей. Особливості поведінки дислокаційної структури в  $\alpha$ -Fe,  $\alpha$ -Cr та їх сплавах. Модель еволюції дислокаційної структури в  $\alpha$ -Fe та феритних сталей.

**Тема 4. Вплив опромінення на розпад твердого розчину та еволюцію частинок вторинних фаз**  
Механізми радіаційно-індукованої сегрегації: вакансійний та міжвузловинний механізми. Поведінка частинок вторинних фаз в опроміненні аустенітних та феритних сталей.

**Тема 5. Радіаційне розпухання аустенітних та феритних сталей**

Загальні концепції радіаційного розпухання. Розпухання чистого Ni. Температурна та дозна залежності розпухання сталей аустенітного класу. Особливості еволюції порової структури ферито-мартенситних сталей, металів і сплавів з ОЦК-решіткою. Спільність та відмінність процесів порового розпухання металів, сталей і сплавів з ГЦК- та ОЦК-решітками.

**Тема 6. Еволюція структури і хімічного складу цирконієвих сплавів в процесі опромінення**  
Дислокаційна структура і виділення вторинних фаз. Пори у цирконієвих сплавах. Трансмутаційні ефекти у цирконієвих сплавах та їх вплив на еволюцію дефектної структури.

## Теми практичних занять

немає

## Теми лабораторних робіт

Робота 1. Побудова профілей розподілу імплантованих частинок і виділеної енергії в пружних і непружних зіткненнях у твердих тілах.

Робота 2. Комп'ютерне моделювання процесів іонної імплантації уламків ділення ядер урану (He, Kr, Xe) в однокомпонентні мішені.

Робота 3. Комп'ютерне моделювання процесів іонної імплантації в багатокомпонентні мішені.

Робота 4. Комп'ютерне моделювання процесів іонної імплантації в шаруваті мішені.

Робота 5. Комп'ютерне моделювання процесу розпилення твердих тіл під впливом іонного опромінення.

Робота 6. Рентгено-дифрактометричне і електронно-мікроскопічне дослідження пластин вольфраму в вихідному стані.

Робота 7. Рентгено-дифрактометричне і електронно-мікроскопічне дослідження пластин вольфраму після опромінення водневою плазмою.

Робота 8. Створення та дослідження структури перспективних покриттів для дивертору термоядерного реактору на основі квазикристалів.

Робота 9. Рентгено-дифрактометричне і електронно-мікроскопічне дослідження квазикристалічних покриттів після опромінення водневою плазмою.

## Самостійна робота

Студенти самостійно опрацюють лекційний матеріал і вивчають теми та питання, які не викладаються на лекційних заняттях. Студенти готуються до контрольних робіт, самостійно оформлюють лабораторні роботи і готуються до їх здавання викладачу. Виконують індивідуальне завдання по комп'ютерному моделюванню процесів іонної імплантації і розпилення поверхні твердих тіл та побудові профілей розподілу імплантованих частинок та радіаційних дефектів у твердому тілі.

## Література та навчальні матеріали

Основна:

1. M.W. Thomson Defects and radiation damage in metals. – Cambridge: University Press, 1969. - 356 p.

2. Chr. Lehmann. Interaction radiation with solids and elementary defect production. – Amsterdam: Elsevier, 1977. – 341 p.
3. J.K. Hirvonen. Ion implantation. – New York : Academic Press, 1985. – 392 p.
4. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки: Підручник / З.Ю. Готра, Б.А. Лукіянець, В.П. Махній, С.В. Павлов, Л.Ф. Політанський, Е. Потенські.- Черновці: Видавництво “Технологічний центр”, 2014. – 839 с.
5. Sputtering by particle bombardment. I. Physical sputtering of single element solids. Topics in applied physics. vol. 47/ edited by R. Behrish. – Berlin: Springer, 1983. – 335 p.

Додаткова:

6. Зелев С.П., Рабоча Л.С., Шпетний І.О.. Оптика електронно-променевиx приладів – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 208 с.

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання у вигляді екзамену (40%) та поточного оцінювання (60%).  
Екзамен: письмове завдання (3 запитання) та усна доповідь.  
Поточне оцінювання: 2 онлайн тести (по 10%), лабораторні роботи (20%), ІДЗ (20%),

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХП»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХП» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

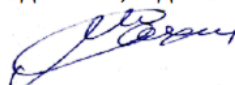
Силабус погоджено

Дата погодження, підпис



Завідувач кафедри  
Сергій МАЛИХІН

Дата погодження, підпис



Гарант ОП  
Сергій МАЛИХІН